

中国近代海务建筑预制施工与光学技术的引进 ——以海关营造机构的建设为中心

The Introduction of Prefabricated Construction and Optical Technology in Modern Chinese Maritime Architecture: The Construction of the Works Department of Chinese Maritime Customs

王若然 | WANG Ruoran [日]青木信夫 | AOKI Nobuo 徐苏斌 | XU Subin

中图分类号: TU-092 文献标志码: A 文章编号: 1001-6740(2023)06-0092-09 DOI: 10.12285/jzs.20220929002

摘要: 近代西方势力是从海上进入中国的, 海上贸易催生了海务相关设施的建造, 推进了海务建筑的近代化, 承担海务相关建造的是海关。1868至1949年间, 近代中国海关营造机构组织建造了灯塔、港口附属建筑等百余处海务建筑, 较早引进了同时代国际最前沿的预制施工与光学技术, 对中国海务建筑这一特殊类型的工业建筑做出重要奠基。本文基于一手史料挖掘并考察近代海关营造机构的建设活动, 厘清以灯塔为代表的海务建筑的建设活动在预制施工和光学技术方面的突破性创新, 剖析海关营造机构对中国海务建筑近代化实践的重要推动作用和积极意义。以期从建筑技术传播的视角, 为近代条约港城市及其附近岛屿的遗产研究提供新的线索。

关键词: 海务建筑、预制施工、光学技术、灯塔、海关营造处

Abstract: Modern Western powers entered China by sea, and maritime trade promoted the construction of maritime facilities and the modernization of maritime architecture, which the Maritime Customs undertook. Between 1868 and 1949, the Works Department of Chinese Maritime Customs constructed more than a hundred maritime architectures, including lighthouses and port annexes, introducing the most advanced international prefabricated construction and optical technologies, and laying an essential foundation for this particular type of industrial architecture in China. This paper examines the construction activities of the Works Department of Chinese Maritime Customs based on first-handed historical documentation, identifies the groundbreaking innovations in prefabricated construction and optical technology in the construction of the lighthouse as a representative example of maritime architecture, and analyses the critical role and positive significance of the Works Department of Chinese Maritime Customs in the modernization of this particular type of industrial architecture in China. It aims to research the heritage of modern treaty port cities and their nearby islands to provide new clues from the perspective of the diffusion of architecture technology.

Keywords: Maritime architecture, Prefabricated construction, Optical technology, Lighthouse, Works Department of Chinese Maritime Customs

作者:

王若然, 天津大学建筑学院博士后;
[日]青木信夫, 天津大学建筑学院教授;
徐苏斌 (通讯作者), 天津大学建筑学院讲席教授。

教育部人文社会科学研究一般项目, 全球化视角下的近代京津冀开埠城市建设史研究 (23YJC770026); 国家自然科学基金面上项目 (52178021) “近代东亚地区法国租界规划建设比较研究”; 中国国家社科艺术重大项目 (21ZD01) “中国文化基因的传承与当代表达研究”; 天津大学自主创新基金—社会影响力 (基地项目), 天津近代文化遗产的遗产化过程比较研究 (2023XS-0154) 的阶段性成果之一。

录用日期: 2022-11

一、引言

近代西方势力是从海上进入中国的, 海上贸易催生了海关对于海务建筑的建造, 推进了海洋相关设施的近代化。然而对于海关的研究多集中在政治、经济方面, 事实上海关不仅是对于近代中国的政治、经济、外交等多方面产生影响, 还

是建设领域专业化的组织机构^①。近代外籍税务司建立的中国海关营造机构以1868年海关船钞部灯塔营造科^②成立为始, 至1949年中国海关总署成立为止, 在条约港城市及其附近岛屿建设灯塔、附属建筑、海关大楼等^③, 为海务建筑这一特定类型的工业建筑的建设近代化奠定了重要基础。

早在 15 至 17 世纪, 随着航海技术的发展和海上贸易的繁荣, 英、法等欧洲国家相继颁布了《航标法案》, 在境内建设了多座灯塔, 并在 18 至 19 世纪海外殖民和贸易迅速扩张时, 将灯塔的营造活动引入海外。同时, 19 世纪也是欧洲工业技术迅速发展的时期, 19 世纪上半叶, 法国工程师发明了使光线传播得更远、效率更高的菲涅尔透镜, 在世界博览会上展出并获金奖, 受到全世界的关注, 并传播至更广泛的地区。而英国也在 19 世纪 40 年代基于在艰险环境下建设灯塔的丰富经验, 率先应用预制技术进行灯塔施工, 极大缩减了施工时间、保障了从业人员的生命安全。这是预制施工技术在建筑领域在全世界范围内较早的尝试, 早于 1851 年出现的首座预制施工建筑——伦敦水晶宫十年之久。在中国, 以 1868 年海关营造机构的成立为标志, 开始有组织有计划地开展海务建筑工程、铺设正规的海务设施^④, 并率先引入了当时世界上最前沿的建筑技术, 在中国近代建筑领域的探索上也具有重要引领性。

目前学界主要侧重于海关背后的社会经济活动的研究^⑤, 对于海关承建的海务建筑则鲜有研究。关于中国近代建筑师与工程师的研究^⑥也鲜有提及海关营造人员及其建造活动, 仅有郑红彬对于部分外籍海关建筑师进行了梳理, 薛求理对于中国香港横澜岛灯塔建筑群及其遗产价值要素的深入研究^⑦以及其他部分建筑的个案研究^⑧。在近代城市与建筑史研究中, 关于海关营造机构及其建设活动则尚有大量一手档案未被充分挖掘, 特别对于其营造活动背后对于欧美国家当时先进的施工与光学技术向中国的引进尚处空白。这些技术在 19 世纪下半叶最先以灯塔的建设为媒介, 着陆于近代中国, 突破了传统海务设施的局限, 打造了安全完备的海上航路, 其开创性的技术引进与改良, 也对工业建筑的近代化带来了深远影响。基于此, 本文以近代中国海关营造机构对海务建筑的建设活动为切入点, 剖析英籍总营造司主导下对当时世界最前沿的预制施工和光

学技术的引入。以国际化的视点, 深入分析近代海务建筑背后的技术的传播与着陆过程, 证明海关营造机构对于中国海务建筑这类特殊工业遗产的近代化实践产生的积极推动意义与深远影响, 以期为近代条约港城市史与工业遗产研究提供新的视角与线索。

二、近代中国海务建筑的出现

1. 传统中国海务设施

传统中国的航海除以自然礁石、岛屿等自然航标标记方位和险要地域外, 也有烽火、宝塔、守望台等早期人工设置的固定航标, 如唐代在广州珠江岸边建立的怀圣寺光塔、上海朱家角镇泖塔, 明代在福建崇武所城城角修建的灯塔。但传统灯塔受限于营造技术, 只能设置于岸上, 无法深入到较远的孤岛、礁石等地势更为艰险之处。因此, 当时还有灯船作为移动航标, 可在海上停泊。光源主要为蜡烛或用棉纱线做灯芯、植物油做燃料的油灯。但传统航标的光线强度和照射距离均有限, 不能抵御恶劣天气。遇到雨雾天气则只能靠敲击铜钟、悬挂铜风铃等方式引航, 效果有限。

此外, 传统灯塔多为民间自建, 缺乏统一规划和管理^⑨。海上航行艰险、事故频发^⑩。为避免海难发生, 保护船员生命及财产安全, 确保航运和贸易的顺利进行, 19 世纪 60 年代, 刚刚就任中国海关总税务司的赫德 (Robert Hart) 提出“使中国沿岸之海航, 有如在纽约百老汇路煤灯光下的安然散步”^⑪的目标, 开始全面修筑灯塔等海务建筑与设施的计划。

2. 近代中国海关营造机构与总营造司

近代中国海关营造机构建立于 1868 年, 属于 1858 年后被西方侵略者控制的海关下的一个管理机构^⑫。直至 1949 年中华人民共和国成立, 海关进行全面重组。在其存续的八十多年间, 组织架构历

经多次更替, 包括灯塔营造科、营造处、营造科、关产建筑科和工程科等多个名称。其负责的工作也从最开始的灯塔建设逐步扩展至海关所辖范围内全部的土地、建筑、灯塔、航运附属设施等各类工程的设计和建造工作。

海关营造机构的建立标志着近代中国开始了早期海务建设的尝试, 赫德 1868 年制定关于“海关沿岸灯塔的五年计划”^⑬, 在五年内在中国海岸的 20 处地点建设灯塔、设立灯标、警船、浮桩等, 是中国首个关于海务建筑的完整计划^⑭。1868 年, 赫德选取了天津、烟台、上海、厦门、福州、汕头、香港等首批港口建设十余座灯塔, 并特别提及了上海和香港附近海域的重要性^⑮, 因而最初灯塔的建设以长江入海口和东南沿海为中心开展。

1869 年, 英国工程师韩德善 (David Marr Henderson, 图 1) 被招募至海关, 担任首任灯塔营造司 (Chief Coast Lights Engineer), 1871 年更名为总营造司 (Engineer-in-chief)^⑯。海关营造机构在存续的八十多年间, 先后共经历四任总营造司、一位代理营造司以及若干位总建筑师与总工程师。第二任总营造司哈尔丁还受当地政府之邀, 将西方近代建筑理念与技术引入韩国, 设计韩国德寿宫石造殿、釜山、木浦港口灯塔等, 成为当地近代西洋建筑的重要开端与自主推行近代化的



图 1: 首任总营造司韩德善

海关营造处历任总营造司

表 1

	任期 (年)	姓名	背景	任职期间主要工作
第一任	1869—1888 1889—1898	韩得善 David Marr Henderson	英国光学仪器制造厂——钱氏兄弟工厂 (Chance Brothers and Company)	设计建造、维护灯塔三十余座
	1888—1889 (代理)	钱伯斯 John Chambers	英、印铁路工程师	韩得善休假期间任代理总营造司，督建天津海关大楼等
第二任	1898—1908	哈尔丁 John Reginald Harding	英国工业制造厂——阿姆斯特朗公司 (W. G. Armstrong Whitworth & Co)	改良海岸线灯标、灯塔、照明，受韩国政府委托设计釜山港灯标、德寿宫石造殿
第三任	1908—1918	迪克 David Crawford Dick	苏格兰灯塔营造厂——史蒂芬公司 (D. & C. Stevenson)	推行灯标现代化，动力、光学、报警设备的整修和提升
第四任	1919—1930	司徒达 Lawrence Tweedie-Stodart	苏格兰灯塔营造厂史蒂芬公司，英国海军部背景、多国港务工作经验	改良灯塔和灯标，引入现代化光学设备、无线信号站

象征。第三、四任总营造司迪克与司徒达则在英国著名的灯塔营造厂史蒂芬公司 (D. & C. Stevenson) 有过多年工作经验 (表 1)^⑦。他们在铺设沿海与沿江各处灯塔及其附属建筑时，也将欧美国家当时最前沿的技术引入近代中国，并跟随全球相关技术的发展，进行持续更新与近代化转型。

三、中国海务建筑技术的近代化实践

数任总营造司领导的海关营造机构，在近代中国建立了体系化的海务建筑综合体。针对灯塔的助航功能需求及其面临的严苛环境，开创性地使用了异地装配的预制施工工艺，引进了当时欧洲最前沿的光学技术，引领了中国近代海务建筑的全面革新。

1. 海务建筑类型的体系化

海关营造机构的建设活动丰富了海务建筑的类型，以系统的勘测计划和整体的布局设计，突破了传统海务设施仅有简易灯标和灯船，且必须靠近岸边的局限。海关营造机构将海务建筑定位为以灯塔为核心的海务综合建筑群，集助航、防御、居住、生活、观测记录等多功能为一体，为近代中国带来了体系化的海务建筑综合体。

在灯塔设计方面，比较 19 世纪英、法的灯塔可见 (图 2)，法国在灯塔的外观

上保留了古典主义建筑风格。如由白色石灰石建成的科尔杜昂灯塔，不仅外部饰有古典主义的壁柱、立柱托饰、滴水兽，内部也极为豪华，一层为“国王大厅”，使用了比利时进口的黑色大理石铺地，二层为装饰有彩色玻璃窗的科尔杜昂圣母教堂，用于为航海者祈福。守塔人住宅位于五层，铺有橡木地板，顶层为灯房。灯塔不仅具有功能性，还具有类似纪念碑的地标性质。而英国的灯塔则相对简单朴素。由于 1566 年英国议会通过的《航标法案》明确规定了灯塔的功能性用途，即为船只顺利到港、避免遇险而设置，因而英国灯塔设计的传统便是注重其功能需求。此外，若建造环境和岛屿面积允许，考虑营造简单、居住舒适，英国多将守塔人住宅、仓库等配套用房设置与灯塔旁边作为独立用房，而非设置于灯塔内部。且相较于欧洲其他国家做出的六角、八角形灯塔的尝试探索，英国灯塔则大多应用了最简单的圆形平面。

在中国，由于海关营造司与主要工程技术人员均为英籍，在灯塔形式和整体布局上明显体现了对英国灯塔的借鉴。这样的海务建筑群以灯塔和雾笛、雾炮为核心实现助航功能。灯塔的平面均为圆形，塔内设置旋转楼梯。外部多为白色，或黑白/红白相间的条纹，在白昼和黑夜都易于识别，条纹状灯塔则在礁石悬崖的背景下更易辨识，兼具功能要求和美学考量。配套用房多在灯塔旁边设置，规划有守塔人宿舍、厨房、仓库等，房间也精心考虑了通风、防水、保温等。

例如 1902 至 1904 年间建造的福建省东涌灯塔 (图 3)，以红砖和铸铁制造，包含塔身、塔顶、塔灯三部分，塔高 14.2m，以煤油为主要燃料、使用当时先进的白炽纱罩灯头。塔顶为半圆形穹窿构造，顶部安装了风标和避雷针。建筑群共包括华籍守塔员办公室及宿舍、外籍守塔员办公室及宿舍、仓库、猪舍与鸡舍、炮台、灯塔六个区域。由于灯塔建筑群多位于远离大陆的孤岛，生活单调枯燥，饮食补给不便，业余生活仅有游泳、钓鱼等。因而东涌岛、横澜岛灯塔旁边还设有猪舍、鸡舍、菜田，供守塔人耕种蔬菜、种植园艺、饲养家禽家畜，既丰富了日常生活、又有益饮食均衡健康。此外，守塔人的另一个重要工作是气象观测，因而部分灯塔还规划有气象观测站、办公室，用于观测和记录气候变化、海水温度、海难情况等，也配有用于维修的工作间和储存油料的仓库。在防御方面，为避免海盗侵扰，多有设置围墙和炮台，并为守塔人配备了来福枪或左轮手枪^⑧。

以灯塔为核心的多功能海务建筑综合体，既保障了助航、气象观测等功能需求，也通过打造完善的居住、生产生活、防御等建筑，保障了守塔人的身心健康，丰富了守塔人的生活，也是灯塔安全平稳运行的重要保障。

2. 预制施工的创新性

灯塔通常位于风浪较大的险滩或孤岛，并受到潮汐影响，施工难度极大；同



法国科尔杜昂灯塔
(Phare de Cordouan, 1850年重建)

英国马恩岛灯塔
(Calf of Man Lighthouse, 1832年)

图 2: 19 世纪法国与英国灯塔形式比较



图 4: 1841 年英国在牙买加首次使用组装预制构件方法建设的莫特兰角灯塔

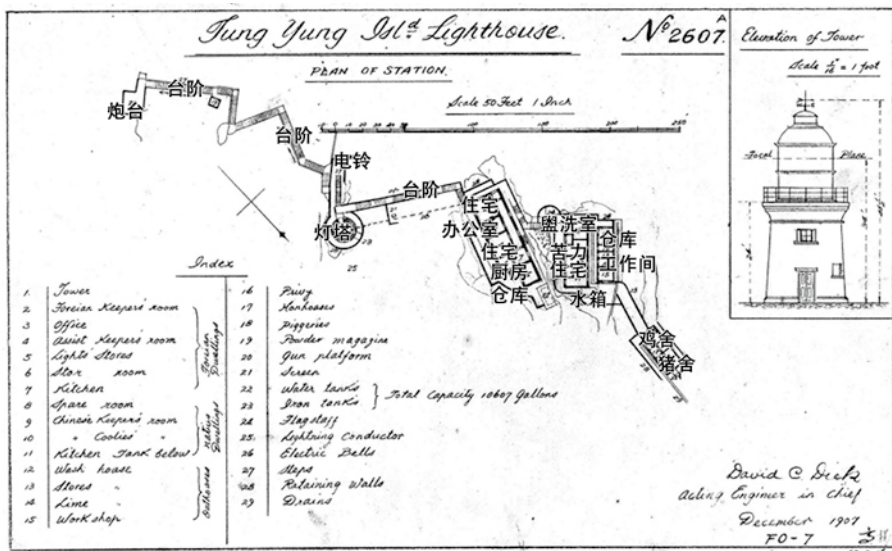


图 3: 东涌岛灯塔总平面及立面图

时灯塔作为特定功能的建筑，对施工工艺要求较高，其拟建设地点大多不具备现场建造条件。因此在欧洲 19 世纪的实践中，逐渐探索出预制施工的新方法，并将其引入中国，在当时成为最具前沿性和引领性的施工技术。

早在 1841 年，英国在牙买加首次使用组装预制构件的方法建设了莫特兰角灯塔 (Morant Point Lighthouse) (图 4)，由苏格兰土木工程师亚历山大·戈登 (Alexander Gordon) 设计，以混凝土作为基础，塔身为铸铁结构。在伦敦的布拉玛·罗宾逊 (Bramah & Robinson) 工厂生产后进行组装试验。根据当地报纸报道，

当这座高耸的灯塔从工厂墙壁内逐层建起时，吸引了附近很多人的赞叹和惊奇^⑩。试验成功后，灯塔被拆除并装船运往牙买加。

灯塔位于一块珊瑚岩上，以混凝土和砖石作为基础，混凝土周围再覆盖花岗岩以避免海水侵蚀。灯塔高 105 英尺，塔身底部直径为 18.6 英尺，顶部直径为 11.6 英尺，有明显收分，总重约 100t。塔身由 9 层铸铁版拼接而成，每层 10 英尺高，厚度从 0.75 至 1 英寸不等。铸铁版内部铸有凸缘，铁板之间用螺栓固定，并用铁水泥填缝。考虑到散热需求，塔身内部还设计有一层石板内壁，与外层铸铁之间有

1.5 英寸的间隔，使空气得以流通。内部被分为若干房间，作为守塔人宿舍和储藏室等，塔身开有通风窗。最下方两层塔身外壁涂煤焦油防止锈蚀^⑪。灯塔由亚历山大·戈登的徒弟、土木工程师乔治·格罗夫 (George Grove) 和另外两名机械师从英国赴牙买加监督工程^⑫，在内部使用吊杆架进行逐层施工，灯塔的第一层组装完毕后，在第一层板上架设一根横梁，从横梁上固定井架和吊篮，以提升第二层板。这样逐层安装而无需任何外部脚手架，节省了在海上架设脚手架的昂贵费用^⑬。

设计师亚历山大·戈登在当年的《土木工程与建筑师杂志》记载了这次突破性的尝试：相较于传统的现场施工，使用预制施工方法的莫特兰角灯塔极大节省了施工时间和费用。现场建造的灯塔常常多达数年之久才能完工，且危险重重，而莫特兰角灯塔只用了不到三个月的时间即完成施工。并且建造、运输、和安装的总费用不会超过传统施工方法的 1/3，约为 7000 美元。预制施工方法也能够保证灯塔的坚固性，足够抵御西印度群岛频发的地震以及破坏性的飓风^⑭。如今莫特兰角灯塔以其珍贵的历史和工业技术价值，成为牙买加的国家级纪念碑。

莫特兰角灯塔的成功，使预制施工的

方法迅速在欧美国家的灯塔工程中普及。此后西方国家在海外的建设中多采用此种方法²⁴⁾。19世纪60年代,海关营造机构在中国开始的灯塔工程,也引入了预制施工的模式,主体部件在英国、法国等工厂生产建造,并进行组装试验,试验合格后再进行拆解、装箱、运输到中国当地再雇用工人组装。在正式施工前,还需对场地环境、气象、潮汐情况进行详细记录和勘测,以选择合适的位置和施工时间,否则施工工地还有被海浪淹没的风险。此外,由于部分岛屿距离海岸较远,地势艰险,不具备建造装卸码头的条件,还需要用升降设备从船上直接吊到岛上进行装卸。施工由海关营造司或营造部门的工程师和机械师监督、雇用当地工匠建造。

例如1868年海关营造机构成立后,总营造司韩德善设计建造的首个灯塔——长江口大戢山灯塔,已参考英国经验,采用预制施工方法建设。塔身和透镜等核心材料来自英国,附属建筑材料则来自附近的上海。由于岛屿过小,船只无法登陆,因而将部件先卸入海中,再使用起重机从海中吊起的方式施工。施工由韩德善监督、雇用当地工人进行,共花费一年时间完成²⁵⁾。大戢山灯塔成为后续灯塔建设的范例,此后在中国建设的灯塔,多数都采用了预制装配式施工的方法。在多年的实践中,总营造司还不断针对场地需要和施工经验对施工设备进行改良。1871年,韩德善改造设计了以蒸汽作为动力的转臂起重机(图5),由英国格拉斯哥卡梅伦公司

(D. Cameron & Co)生产²⁶⁾,并在此后的长江沙尾山等灯塔的建设中使用,使重型的灯塔部件的吊装更加容易。

在近代中国,灯塔成为较早使用预制装配式施工方法的建筑,突破了传统助航设施无法在远离岸边的地方建造的局限,克服了极端条件下的建造困难、提高了施工效率、也保障了营造人员的生命安全。预制施工方法在19世纪40年代由英国在海外灯塔的建设中开始探索实践,1851年伦敦世界博览会的水晶宫成为世界上第一个使用预制装配技术的大型建筑。十余年后,便由英籍海关营造司引进,灯塔成为最早着陆于近代中国的使用预制施工技术的工业建筑,在当时全世界范围内都极为前沿、极具引领性。

此外,预制施工的方法使灯塔的设计建造模块化,韩德善设计的大连老铁山灯塔、浙江北鱼山灯塔等外观均极为相似(图6),这样的设计得以从英、法工厂批量订购和运输,极大节约了经费和时间。海关营造机构也因而能在成立十余年内便迅速铺设灯塔网络,完成保障航行安全的首要任务。

3. 光学技术的前沿性

灯塔作为具有特殊功能的海务建筑,在近代中国的发展演变也见证了光学与机械技术的革新。灯塔最主要的功能是通过发光引航,18至19世纪,灯塔的主要光源为油灯,通过球面透镜反射和传递

光线,透镜较为笨重且传递光线的效果有限。直至1821年法国物理学家奥古斯丁·菲涅尔(Augustin Fresnel)发明了具有变革意义的菲涅尔透镜,突破了传统球面透镜,采取了螺旋状的设计,将透镜划分出多个同心圆纹路(图7)。将传统透镜连续的曲面截为许多个曲率固定的不连续曲面,每一个曲面凹槽都相当于一个独立的透镜,并且曲率经过严格计算,各曲面透镜与中央透镜的焦点相同,能够反射出方向一致的水平光线。此外,在透镜的上方和下方,还设置了银色玻璃镜,将射往天空和地面的光线再次反射到水平方向。因而,这种透镜具有焦距短、更薄、能够传递更多光线,并将光线传递得更远的特点。更具普及价值的是,菲涅尔透镜的设计相较于传统透镜,使用的材料更少、体积更小,重量更轻²⁷⁾。

1822年,菲涅尔对透镜进一步改造,针对灯塔建筑的特点和需求,将其设计为八面闪光透镜(图8)。并根据焦距大小从920mm至250mm,分为头等、二等、三等大、三等小、四等镜机。此外,针对灯塔需要向各个方向发射光线的需要,菲涅尔在透镜下方加设了发条旋转装置,由重物带动镜机旋转。灯塔便可向各个方向传播光线,并通过遮挡设备实现灯光的交替闪烁,使得水手可以通过灯光闪烁频率而区分不同灯塔、明确船只定位。此后,菲涅尔与经营光学仪器工厂的法国商人弗朗索瓦·苏莱尔(François Soleil Sr.)签订合作生产合同,透镜正式投产²⁸⁾。1823

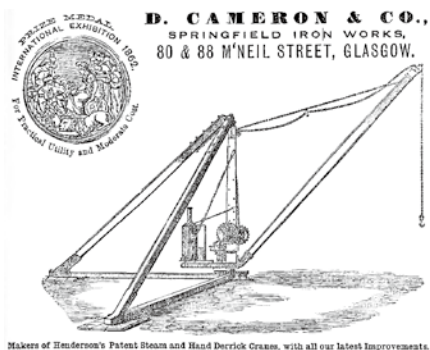


图5: 1871年由韩德善改进的蒸汽转臂起重机

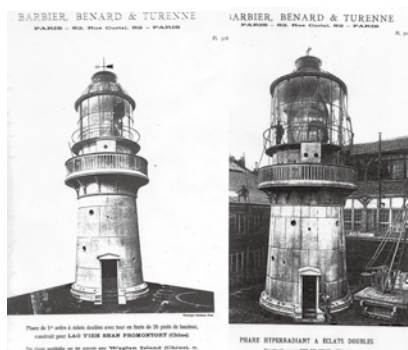


图6: 老铁山灯塔和北鱼山灯塔在法国工厂预先装配的场景

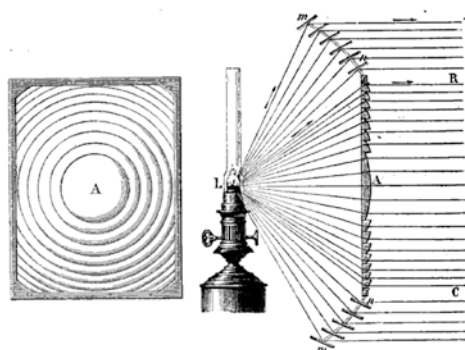


图7: 菲涅尔透镜平面和剖面图

年菲涅尔透镜首次在法国科尔杜昂灯塔 (Cordouan Lighthouse) 上使用 (图 9)。

菲涅尔透镜的突破性创新受到了欧洲各国的关注。1824 至 1838 年, 英国、美国、西班牙均从法国订购了首个应用于灯塔上的菲涅尔透镜²⁹。同时欧洲各国也在积极探索菲涅尔透镜的制造工艺。1831 年英国伊萨克·库克森公司 (Isaac Cookson & Co) 聘请奥古斯丁·菲涅尔的弟弟、土木工程师、法国灯塔委员会成员莱昂·菲涅尔 (Léon Fresnel) 作为顾问³⁰, 生产出英国第一枚菲涅尔透镜, 并在 1835 年应用于苏格兰因奇基斯灯塔 (Inchkeith Lighthouse)。19 世纪上半叶, 英、法出现了诸多尝试制造菲涅尔透镜的工厂, 但大多运转时间不长即宣告倒闭或转手³¹。唯有 1848 至 1954 年间存续的英国钱氏兄弟工厂 (Chance Brothers & Company) 成为英国运行时间最长、影响范围最广的生产菲涅尔透镜的工厂, 而法国则以著名光学生产商巴比埃公司 (Barbier, Bénard & Turenne) 占领市场最广。

1851 年, 钱氏兄弟工厂成功生产了菲涅尔透镜。19 世纪下半叶开始应用于英国多个灯塔的改造和新建工程, 并出口到海外国家 (图 10)³²。钱氏兄弟工厂也成为英国玻璃透镜、灯塔光学元件制造的先驱工厂, 提供包括伦敦水晶宫、大本钟的等建筑的玻璃部件, 以及英国 19 世纪下半

叶建设的众多灯塔透镜。1855、1881 和 1889 年, 菲涅尔透镜数次在巴黎世界博览会、国际电力博览会中展出, 受到了全世界的广泛关注 (图 11)。灯塔是对照明强度和距离要求极高的特殊类型工业建筑, 其技术在全世界数百年的发展中不断进步, 而菲涅尔透镜成为其在建筑设备领域最具突破性和最具影响力的革新之一, 并在 19 世纪下半叶迅速向全世界传播和普及。

在中国, 韩德善成为总营造司之前, 曾于 1859 至 1867 年在英国钱氏兄弟工厂有八年的工作经验, 见证了工厂在 19 世纪中叶对灯塔透镜的诸多探索。19 世纪末, 菲涅尔透镜开始在全球普及时, 韩德善也将这种最前沿的光学技术引入了中国。他在中国主导设计的三十余座灯塔中, 镜机

多从钱氏兄弟工厂进口而来, 并使用预制施工技术在当地组装。例如 1895 年建造的浙江北鱼山灯塔, 与欧美国家的八面透镜不同的是, 或考虑到成本, 中国早期使用的是四面菲涅尔透镜 (图 12)。在光源方面, 大部分灯塔均从法国巴比埃公司进口当时欧洲先进的白热煤油汽灯, 并采用可间歇阻挡光源的白炽纱罩, 灯光即可通过不同的闪烁频率或变化的强弱光线, 使船只区分不同的灯塔以辨别方位。

除在新建灯塔中应用最前沿的技术外, 历任总营造司也将早期建造的灯塔进行升级改造。如 20 世纪初第三任总营造司迪克将长江口的花鸟山灯塔升级为头等镜机 (直径 1840cm) (图 13), 将光源升级为煤油汽灯, 并应用了 55cm

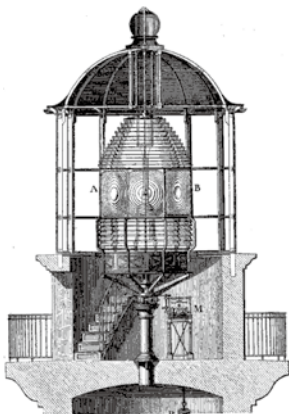


图 8: 八面闪光菲涅尔透镜在灯塔上的应用



图 9: 1823 年菲涅尔透镜首次应用于法国科尔杜昂灯塔

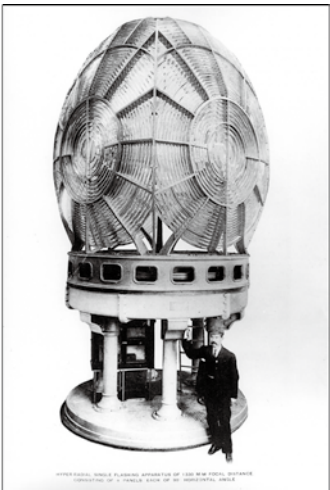
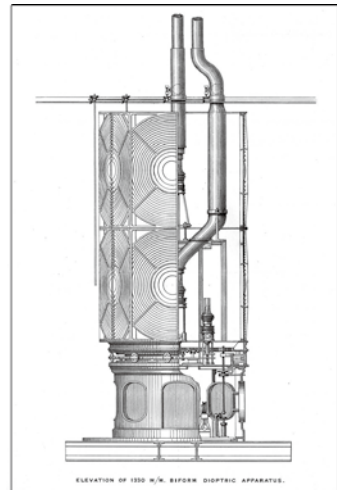
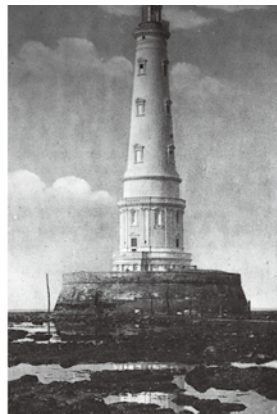


图 10: 英国钱氏兄弟工厂生产的菲涅尔透镜及其传播 (左: 英国主教岩灯塔, 1887 年; 右: 加拿大开普雷斯灯塔, 1907 年)

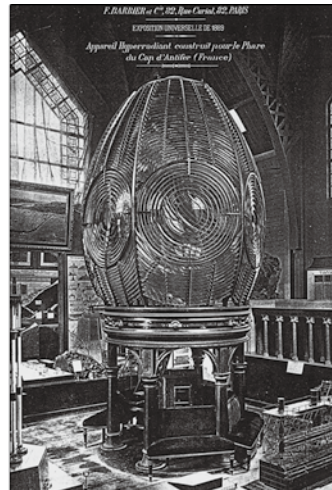


图 11: 19 世纪末菲涅尔透镜在世界博览会上的展示 (左: 巴黎国际电力博览会, 1881 年; 右: 巴黎世界博览会, 1889 年)

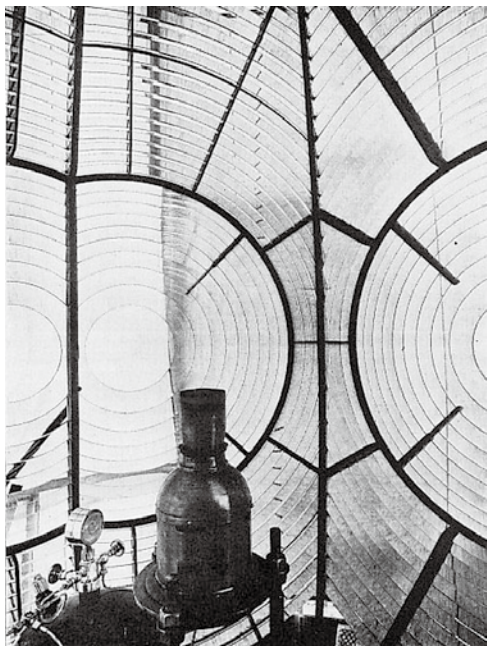


图 12: 1895 年北鱼山灯塔使用的菲涅尔透镜



花鳥山燈塔鏡機圖

图 13: 装有菲涅尔透镜的花鳥山灯塔镜机

白炽纱罩，每十五秒钟闪光一次，烛力增加到五十万枝^③。此外，在机械技术方面，以 1893 年建造的辽宁老铁山灯塔为开端，引入欧洲当时最先进的水银浮槽式旋转镜机，旋转装置可漂浮在水银上，用重锤和铰链带动镜机旋转，实现全方位的照明和光线的变化。透镜与灯头作为灯塔的核心构件，在普及了菲涅尔透镜和煤油汽灯后，也可使用预制装配式施工的模式，从欧洲进口后组装，进一步降低了建造成本，提高了建造效率。

20 世纪初，欧洲还出现了比雾钟、雾炮在浓雾天气时传声效果更佳的低音雾笛，并在 20 世纪 20 年代传播至中国，应用到灯塔的进一步更新工程中。1923 年，第四任总营造司司徒达在花鳥山灯塔增设头等低音雾笛，撤销了旧有雾炮。雾笛直径八寸，十二马力引擎，听程达到 5 至 10 海里。雾笛依靠压缩空气和活塞产生声响，在恶劣天气时仍具有较好的引航效果。其他 20 世纪上半叶的技术与设备更新还包括气象观测的风标、塔顶的避雷针、无线电通讯等，均被相继引入了中国沿海的灯塔的更新工程中。

由此可见，英籍总营造司因教育背景、实践经验等方面与欧洲的密切联系，能够

率先掌握欧洲 19 世纪最先进的技术革新情况、了解掌握最前沿技术的工厂，并将其引入中国，使中国成为世界上最早引入近代灯塔光学与机械技术的国家之一。这些灯塔建筑通过总营造司的不断更新、扩建、动态升级工程，逐渐成为视觉航标、音响航标、无线电航标兼具的功能日渐完善的海务建筑群，同时也见证了近代光学技术的发展革新以及全球化传播的历程。

四、结语

19 世纪中叶，近代海务建筑的预制施工与光学技术源自英国和法国，在世界博览会上受到广泛关注，并迅速传播到全世界各国。19 世纪海务建筑的近代化技术变革，彻底改变了航海环境，成为海洋贸易的重要保障，也极大地推动了近代海务建筑的发展。这些极具前沿性的技术由英籍海关营造司率先引入中国，打造了遍布南北海岸线的灯塔网络，保障了航行和贸易的安全。总营造司还根据实践经验持续进行技术改进与升级更新，打造了和世界最先进技术保持同步的体系化的海务建筑群。

海关作为城市与外部世界的交流和贸易的重要机构，是城市展示的重要窗口、

与世界相联系的最前端。不可否认的是，近代西方国家在中国建立了不平等条约体系后，为保障帝国主义的经济利益而建立了海关网络。然而从建筑史学科的角度，海关下属的营造机构通过引入建筑与土木工程专业技术人员、引进世界最前沿的建筑技术，为近代中国铺设了最早的海务建筑网络。从总营造司的工作背景可见，他们多有英国当时最高水平的光学仪器和灯塔制造公司的任职经验，得以将最先进的灯塔设计理念、施工工艺、光学技术引入中国。此外，部分总营造司也具有跨洲的多国流动建造经验，并将东亚视为整体在各国间流动，成为技术传播的核心载体。完善的海上航路促进了贸易活动的持续增加；贸易的繁荣又反向推进了海洋基础设施的持续近代化更新。这些建设活动一方面进一步巩固了条约体系的结构，为条约口岸的开发建设奠定了基础；另一方面也使得西方海务建筑的工程技术开始全球化传播，并影响了近代中国和周边更广泛的东亚国家，见证了近代东亚探索建筑与技术近代化路径的尝试。

可以说，近代海关营造机构的人员与建设是近代中西技术交流的一个重要缩影，它们开创了系统的海务建筑设计与营造模式，并与当时世界最先进的光学技术接轨，改变了传统各地自建简易航标灯船的局面，在近代海务建筑的发展史上具有承前启后的重要节点作用。它们推动了海务建筑类型的体系化、普及了极具创新性的预制施工技术，带来了极具前沿性的光学技术的探索和革新，对中国近代建筑与城市的发展具有积极推动意义和深远影响。

如今，多座海关营造机构建设的近代灯塔被列为中国工业遗产名录中的交通类工业遗产，是代表近代科学技术进步的重要载体，也体现了近代技术以跨国界技术者为媒介的全球化传播路径。2018 年中国交通运输部发布的《历史遗留灯塔保护规范》首次对历史遗留灯塔的维护与加固、收藏与展示等保护措施做出了详细要求，这些珍贵的近代灯塔建筑群的保护与更新亦成为值得进一步研究的课题。

注释

- ① 陈诗启. 中国近代海关史问题初探 [M]. 北京: 中国展望出版社, 1987: 1, 125. (英) 吴芳思, 柯卉译. 口岸往事: 海外侨民在中国的迷梦与生活 (1843—1943) [M]. 北京: 新星出版社, 2018: 183.
- ② Robert Hart. Circular No.10 of 1868. Documents illustrative of the origin, development, and activities of the Chinese Customs Service Volume I[M]. Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1937: 86-95.
- ③ (英) 杨国伦. 英国对华政策 1895—1902[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2020: 5.
- ④ 陈诗启. 中国近代海关海务部门的设立和海务工作的设施 [J]. 近代史研究, 1986 (06): 94-112.
- ⑤ 相关研究包括: 陈诗启. 中国近代海关史问题初探 [M]. 北京: 中国展望出版社, 1987. 陈诗启. 中国近代海关史 [M]. 北京: 人民出版社, 2002. 吴松弟, 方书生. 一座尚未充分利用的近代史资料宝库——中国旧海关系列出版物评述 [J]. 史学月刊, 2005 (03): 83-92. 戴一峰. 中国近代海关史研究述评 [J]. 厦门大学学报: 哲学社会科学版, 1996 (03): 118-124. 佳宏伟. 近 20 年来近代中国海关史研究述评 [J]. 近代史研究 (06): 213-242. 傅亮. 近十年来中国近代海关史研究综述 [J]. 海关与经贸研究, 2015, 36 (002): 39-52. 伍伶飞. 近代东亚灯塔体系与航运格局研究 [J]. 中国经济史研究, 2018 (02): 2. 王儒年, 徐凌艳. 一份弥足珍贵的航道建设史料 [J]. 史学月刊, 2007 (10): 133-136. 伍伶飞. 近代东亚灯塔体系与航运格局研究 [J]. 中国经济史研究, 2018, No.136 (02): 2. 毕可思 Robert Bickers. 1932 年的石礁山—灯塔阴影里的生与死 (Breaker Point in 1932: Life and Death in the Shadow of the Lighthouse) [J]. Provincial China, 2009.
- ⑥ 相关研究包括: 赖德霖, 伍江, 徐苏斌. 中国近代建筑史 (五卷本) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 黄元昭. 中国近代建筑纲要 (1840-1949) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 260-268.
- ⑦ 薛求理, 顾艳秋, 景祥祐等. 灯塔记忆: 探析香港横澜岛灯塔建筑群 [J]. 建筑遗产, 2023 (01): 65-75. 郑红彬. 近代在华英国建筑师研究 (1840—1949) [D]. 清华大学, 2014.
- ⑧ 相关研究包括: 胡素萍, 高宁. 近代海关与沿海灯塔的修建——以琼海关为例 [J]. 海南师范大学学报 (社会科学版), 2021, 34 (06): 58-67. 杨晓龙, 胥琳, 于莉. 中国近代沿海灯塔建筑及其体现的建筑史学价值 [J]. 华中建筑, 2012, 30 (04): 175-178. 杨晓龙, 胥琳, 于莉. 浙江象山石浦北渔山灯塔研究 [J]. 建筑学报, 2012 (S1): 89-91.
- ⑨ 李芳. 晚清灯塔建设与管理 [D]. 华中师范大学, 2011: 8-13. 叶嘉奋. 中国航标史 [M]. 北京: 中华人民共和国海事局, 2000.
- ⑩ 班思德. 中国沿海灯塔志 [M]. 李廷元, 译. 上海: 海关总署税务司公署统计科印, 1933: 3.
- ⑪ 班思德. 中国沿海灯塔志 [M]. 李廷元, 译. 上海: 海关总署税务司公署统计科印, 1933: 1.
- ⑫ 早在 1685 年, 清政府开放海禁, 在广东、福建、浙江、上海建立粤、闽、浙、江海关四处海关。但当

- 时的海关在制度、行政管理、征税等方面较为落后与封建, 内部腐败层出不穷, 西方商船走私无法遏止。1853 年上海小刀会起义后, 英、美、法驻上海领事借机控制了江海关, 是为海关被外人所控制的伊始。1858 年建立了海关外籍税务司以及招募洋员帮办海关的制度, 英国驻上海副领事李泰国 (Horatio Nelson Lay) 成为首任总税务司, 西方侵略者攫取了海关的控制权并设立了相应的管理机构。
- ⑬ Robert Hart. Circular No.10 of 1868. Documents illustrative of the origin, development, and activities of the Chinese Customs Service Volume I[M]. Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1937: 86-95.
- ⑭ Robert Hart. Circular No.10 of 1868. Documents illustrative of the origin, development, and activities of the Chinese Customs Service Volume I[M]. Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1937: 86-95.
- ⑮ Memorandum by Robert Hart. Executive Documents printed by order of the House of Representatives during the Second Session of the Fortieth Congress, 1867-68. Volume 1[M]. Washington: Government Printing Office, 1868: 467-470.
- ⑯ SOAS, University of London, Chinese Imperial Maritime Customs Service Publications, Chinese Maritime Customs Service, Service List, 1875-1948.
- ⑰ “中央研究院”近代史研究所, 近代海关人物权威资料库. <http://archdtsu.mh.sinica.edu.tw/imhkm/>
- ⑱ Gutzlaff Lighthouse[J]. The Engineer, January 7 - June 24, 1870: Vol 29: 112. The Sha-Wei-Shan Lighthouse, China. The Engineer July 7 - December 29, 1871: Vol 32: 188.
- ⑲ Morning Post, 22 September 1841. The Nautical Magazine and Naval Chronicle for 1842, A Journal of Papers on Subjects Connected with Maritime Affairs. London: Simpkin, Marshall, and Co., 1842: 849-850.
- ⑳ Alexander Gordon. Cast Iron Light-house, in Progress at Morant Point, Jamaica[J]. The Civil Engineer and Architect's Journal: scientific and railway Gazette, 1841 (4): 333-334.
- ㉑ Obituary, George Grove. The Engineer, 1900-06-01; 567.
- ㉒ Alexander Gordon. Cast Iron Light-house, in Progress at Morant Point, Jamaica[J]. The Civil Engineer and Architect's Journal: scientific and railway Gazette, 1841 (4): 333-334.
- ㉓ Alexander Gordon. Cast Iron Light-house, in Progress at Morant Point, Jamaica[J]. The Civil Engineer and Architect's Journal: scientific and railway Gazette, 1841 (4): 333-334.
- ㉔ R.G. 格兰特著. 灯塔之书 [M]. 王枫, 译. 北京: 中国画报出版社, 2020: 33. Alan Steven. A rudimentary treatise on the history, construction, and illumination of lighthouses[M]. London: John Weale, 1850.
- ㉕ Gutzlaff Lighthouse[J]. The Engineer, January 7 - June 24, 1870: Vol 29: 112.

- ㉖ Post-Office annual Glasgow directory 1877-1878[M]. Glasgow: Printed by William Mackenzie for the letter-carriers of the Post-Office, 1877: 199. The Sha-Wei-Shan Lighthouse, China. The Engineer July 7 - December 29, 1871: Vol 32: 188-189.
- ㉗ Adolphe Ganot, Edmund Atkinson. Natural Philosophy for General Readers and Young Persons[M]. New York: D. Appleton & Company, 1872: 327-330. CORDOUAN, TESTING GROUND FOR AUGUSTIN FRESNEL Cordouan's first lens [DB/OL]. Ministry of Culture, France. <https://cordouan.culture.gouv.fr/en/node/2575>.
- ㉘ J. Elton. A Light to Lighten our Darkness: Lighthouse Optics and the Later Development of Fresnel's Revolutionary Refracting Lens 1780—1900[J]. International Journal for the History of Engineering & Technology, 2009 (2), vol. 79: 183-244.
- ㉙ James Risk. The Fresnel Affair: Manufacturing, Technology Transfer, Republicanism, and the Adoption of the Fresnel Lighthouse Lens, 1819—1852[J]. The Northern Mariner / Le marin du nord, 2019, 28 (4), 363-384.
- ㉚ J. Elton. A Light to Lighten our Darkness: Lighthouse Optics and the Later Development of Fresnel's Revolutionary Refracting Lens 1780—1900[J]. International Journal for the History of Engineering & Technology, 2009 (2), vol. 79: 183-244.
- ㉛ 如 Isaac Cookson & Co., Augustin Henry, Theodore Letourneau, Robert W. Sminburne & Co. 等, 参考 The Evolution of Lighthouse Lens Manufacturers [DB/OL] Digital Archives, United States Lighthouse Society, <https://uslhs.org/sites/default/files/attached-files/Lighthouse%20Lens%20Manufacturers.pdf>.
- ㉜ John P Wigham, John Richardson Wigham 1829—1906[J]. BEAM. Commissioners of Irish Lights, 2006 (35): 21-22.
- ㉝ 班思德. 中国沿海灯塔志 [M]. 李廷元, 译. 上海: 海关总署税务司公署统计科印, 1933: 11.

参考文献

- [1] 陈诗启. 中国近代海关史问题初探 [M]. 北京: 中国展望出版社, 1987.
- [2] 班思德. 中国沿海灯塔志 [M]. 李廷元, 译. 上海: 海关总署税务司公署统计科印, 1933.
- [3] Documents illustrative of the origin, development, and activities of the Chinese Customs Service Volume I[M]. Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1937.
- [4] 张鹏, 贾兴舟. 中国建筑技术现代转型的关键推手——《中华国际工程学会会刊》研究 (1901—1941 年) [J]. 建筑师, 2022 (01): 99-109.
- [5] 郑红彬. 近代在华英国建筑师研究 (1840-1949) [D]. 清华大学, 2014.
- [6] 方德万. 潮来潮去: 海关与中国现代性的全球起源

- [M]. 太原: 山西人民出版社, 2017.
- [7] 陈诗启. 中国近代海关史·晚清部分[M]. 北京: 人民出版社, 1993.
- [8] 陈诗启. 中国近代海关史·民国部分[M]. 北京: 人民出版社, 1999.
- [9] Yuan Fang. Influence of British Architecture in China, Shanghai and Tientsin 1843-1943[D]. University of Edinburgh, 1995.
- [10] Edward Denison, Guang Yu Ren. Building Shanghai, The Story of China's Gateway[M]. John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- [11] SOAS, University of London, Chinese Imperial Maritime Customs Service Publications, Chinese Maritime Customs Service, Service List, 1875-1948.
- [12] 杨仁江建筑师事务所. 马祖东犬灯塔之调查研究[R]. 中国台湾“文化部文化资产局”, 2022.
- [13] 上海總稅務司公署統計處. 海關職員錄[R]. 上海. 上海總稅務司公署統計處, 1945.
- [14] 薛求理, 顾艳秋, 景祥祐等. 灯塔记忆: 探析香港横澜岛灯塔建筑群[J]. 建筑遗产, 2023 (01) : 65-75.
- [15] Lighting Apparatus and Illumination[J]. The Galaxy magazine, Vol 7, 1869.
- [16] J. Reginald Harding. 'The Chinese Lighthouse Service'. Documents illustrative of the origin, development, and activities of the Chinese Customs Service Volume VI[M]. Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1938.
- [17] Institution of Civil Engineers. Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol, 153[C]. Great Britain: 323-324.
- [18] 赖德霖, 伍江, 徐苏斌. 中国近代建筑史(第一卷)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [19] “中央研究院”近代史研究所, 近代海关人物权威资料库. <http://archdtsu.mh.sinica.edu.tw/imhkmc/imhkm>
- [20] 郑彬, 刘寅辉. “中华国际工程协会”的活动及影响(1901-1941)[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2017, 9 (03) : 270-281.
- [21] 张志云, 车群. 税务专门学校与华籍关员(1908~1949年)——中国新行政官僚体系的建立[J]. 国家航海, 2016 (03) : 182-199.
- [22] Richard Henry Brunton. Building Japan 1868-1876[M]. London: Routledge, 2016.
- [23] Edward R. Beauchamp (edi.). Schoolmaster to an Empire: Richard Henry Brunton in Meiji Japan, 1868-1876[M]. Westport: Praeger, 1991.
- [24] 伍伶飞. 近代东亚灯塔体系与航运格局研究[J]. 中国经济史研究, 2018, No.136 (02) : 2.
- [25] 毕可思(Robert Bickers). 1932年的石碑山—灯塔阴影里的生与死(‘Breaker Point in 1932: Life and Death in the Shadow of the Lighthouse’)[J]. Provincial China, 2009.
- [26] 伍伶飞, 吴松弟. 产业政策与航运格局: 以近代日本灯塔事业为中心[J]. 复旦学报(社会科学版), 2019, 61 (01) : 98-105.
- [27] 五十畑弘. 明治初期における英国からの技術移植プラントンの業績を通じた一考察[C]//第七回日本土木研究発表会論文集, 1987: 79-87.
- [28] 岩崎宏. 燈台技師スチブンソン家の人々[J]. 土木史研究, 1990 (10) : 151-162.
- [29] 小林実智子, 泉田英雄. 近代中国の技術者協会の機関誌について近代中国の技術者協会に関する研究その1[C]//日本建築学会編. 日本建築学会計画系論文集, 2011, 76: 2247-2253.
- [30] The Sha-Wei-Shan Lighthouse, China. The Engineer July 7 - December 29, 1871; Vol 32: 188.
- [31] Gutzlaff Lighthouse[J]. The Engineer, January 7-June 24, 1870; Vol 29: 112.
- [32] R.G. 格兰特著. 灯塔之书[M]. 王枫, 译. 北京: 中国画报出版社, 2020.
- [33] Alexander Gordon. Cast Iron Light-house, in Progress at Morant Point, Jamaica[J]. *The Civil Engineer and Architect's Journal: scientific and railway Gazette*, 1841 (4) : 333-334.
- [34] James Risk. The Fresnel Affair: Manufacturing, Technology Transfer, Republicanism, and the Adoption of the Fresnel Lighthouse Lens, 1819 - 1852[J]. *The Northern Mariner / Le marin du nord*, 2019, 28 (4) : 363-384.
- [35] J. Elton. A Light to Lighten our Darkness: Lighthouse Optics and the Later Development of Fresnel's Revolutionary Refracting Lens 1780-1900[J]. *International Journal for the History of Engineering & Technology*, 2009 (2) , vol. 79: 183-244.

图片来源

- 图1: F.O. Devereux and Henderson[DB/OL]. David Marr Collections, University of Bristol Library, <https://www.hpcbristol.net/visual/dh-s227>
- 图2: <https://cordouan.culture.gouv.fr/index.php/en/page/leonce-reynaud-and-cordouan>
https://cordouan.culture.gouv.fr/sites/divers/files/styles/grand_format/public/upload/mediatheque/originales/images/169_2.jpg?itok=igR42fs7
<https://maps.nls.uk/view/218518979>
<http://www.bidstonlighthouse.org.uk/wp-content/uploads/2012/11/MDHBDrawing-3.jpg>

- 图3: Tung Yung Lighthouse[DB/OL]. 中央研究院近代史研究所, 近代海关人物权威资料库, FO-007, <http://archdtsu.mh.sinica.edu.tw/imhkmc/imhkm>
- 图4: Alexander Gordon. Cast Iron Light-house, in Progress at Morant Point, Jamaica[J]. *The Civil Engineer and Architect's Journal: scientific and railway Gazette*, 1841 (4) : 333.
- 图5: Post-Office annual Glasgow directory 1877-1878[M]. Glasgow: Printed by William Mackenzie for the letter-carriers of the Post-Office, 1877: 199.
- 图6: Light manufactured by Barbier and Bénard in Paris and then re-erected at Peiyushan (Beiyushan or Shaho Island), Hieshan Islands, between Ningbo and Wenchow [DB/OL]. University of Bristol - Historical Photographs of China reference number: DH-s002. <https://www.hpcbristol.net/sites/default/files/styles/original2/public/image-library/dh-s002.jpg?itok=0JuXYWqe>
- 图7: Waglan Island Lighthouse [DB/OL]. The Industrial History of Hong Kong Group, <https://i0.wp.com/industrialhistoryhk.org/wp-content/uploads/2015/02/Lighthouse-Lao-Tien-Shan-from-SD.jpg>
- 图8: Adolphe Ganot, Edmund Atkinson. Natural Philosophy for General Readers and Young Persons[M]. New York: D. Appleton & Company, 1872: 328.
- 图9: Adolphe Ganot, Edmund Atkinson. Natural Philosophy for General Readers and Young Persons[M]. New York: D. Appleton & Company, 1872: 329.
- 图10: https://cordouan.culture.gouv.fr/sites/divers/files/styles/grand_format/public/upload/mediatheque/originales/images/128_2_1.jpg?itok=XMGpboth
- 图11: <https://uslhs.org/sites/default/files/Bishop%20Rock%20CB%20Hyper-radial%20%282%29.jpg>
<https://uslhs.org/sites/default/files/HRDB-011%20Lens%20Cape%20Race%20CB%20Newfoundland%20Canada.jpg>
<https://uslhs.org/sites/default/files/Makapu%27u%20Point%20BBT%20Hyper-radial%20TT.jpg>
- 图12: Thomas Tag. Hyper-Radial Lenses [DB/OL]. United States Lighthouse Society, <https://uslhs.org/hyper-radial-lenses>
- 图13: 班思德. 中国沿海灯塔志 [M]. 李廷元, 译. 上海: 海关总税务司公署统计科印, 1933: 10.